

Marko Nieminen

# Jämsän kaupungin EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmien muunnosprojektin tarkastusmittaukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma  
Insinöörityö  
21.5.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Marko Nieminen Jämsän kaupungin EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmien muunnosprojektin tarkastusmittaukset 23 sivua 21.5.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Reijo Aalto paikkatietoinsinööri Markku Nieminen
<p>Tämän insinööriyön aiheena on EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmien käyttöönottoprojektin jälkeiset tarkastusmittaukset Jämsän kaupungille. Mittauksilla haluttiin varmistaa muunnosprojektissa käytettyjen muunnosparametrien soveltuvuus Jämsän kaupungin käytössä oleviin mittausmenetelmiin.</p> <p>Tarkastusmittaukset tehtiin GPS-mittalaitteella staattisella mittausmenetelmällä, jotta mitausvirheet saatiin minimoitua. Mittaukset tehtiin suoraan uudessa ETRS-GK25-koordinaatistossa. Näin mitattuja koordinaatteja päästiin helposti vertaamaan aiemmin määritettyjen muunnosparametrien avulla muunnettuihin koordinaatteihin.</p> <p>Mittauksissa kartoitettiin yhteensä 64 pääosin Jämsän keskustan alueella sijaitsevaa runkopistettä. Mittaustuloksista havaittiin mitattujen ja muunnettujen tasokoordinaattien sekä korkeuksien erojen olevan melko vähäisiä. Keskimääräisiksi eroiksi saatiin tasokoordinaateissa 32 mm ja korkeuksissa 25 mm.</p> <p>Tarkastusmittausten ensisijaisena tavoitteena oli selvittää muunnosprojektin vaikutus Jämsän kaupungin suorittamiin maastomittauksiin. Muunnettujen ja mitattujen koordinaattien ja korkeuksien välisten erojen ollessa ainoastaan muutamien senttimetrien luokkaa, todettiin käytettävien muunnosparametrien soveltuvan hyvin Jämsän kaupungin alueella tehtäviin satelliittimittauksiin.</p>	
Avainsanat	EUREF, N2000, koordinaatistomuunnos

Author Title Number of Pages Date	Marko Nieminen Control measurements for EUREF-FIN and N2000 implementation project in Jämsä 23 pages 21 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Reijo Aalto, Senior Lecturer Markku Nieminen, Engineer of Spatial Information
<p>The topic of this final year project was the control measurements related to the project that implemented the EUREF-coordinate reference system and N2000 height system in Jämsä. The aim of the measurements was to verify the suitability of the coordinate transformation parameters for the measurement techniques used in Jämsä.</p> <p>The measurements were executed using GPS-observations. The measurements were made using the new ETRS-GK25 plane coordinate system. The results of the measurements were compared with coordinates that were generated with the transformation parameters.</p> <p>A total of 64 control points were measured during the project. Only minor differences were observed when comparing the measured coordinates with the transferred coordinates. The average difference was 32mm between plane coordinates and 25mm between heights.</p> <p>The main aim of the control measurements was to examine the influence of the coordinate transformation project on future measurements in Jämsä. Based on the control measurements it was established that the transformation parameters are suitable for future satellite measurements in Jämsä.</p>	
Keywords	EUREF, N2000, coordinate transformation

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jämsän kaupungin muunnosprojekti	1
2.1	Yleistä	1
2.2	Kiintopisteverkon muunnokset	2
2.3	Raja-aineiston muunnokset	3
2.4	Aineistojen muunnokset	3
2.4.1	Jämsän kaupungin ohjelmistot	3
2.4.2	Korkeusjärjestelmämuunnokset	4
2.4.3	Pohjakartat	4
2.4.4	Ilmakuvaukset	4
2.4.5	Asemakaava-, tontti- ja opaskartat	5
2.4.6	Rasterikartat	6
2.4.7	Maastotietokanta	6
2.5	Ohjelmistotoimittajien muunnokset	6
3	Tasokoordinaatistot	7
3.1	VVJ	7
3.2	KKJ	7
3.3	EUREF-FIN-järjestelmä	7
4	Koordinaatistomuunnoksista	8
4.1	Yleistä	8
4.2	Muunnostavoista	8
4.3	Helmert-muunnos	9
4.4	Muunnoksen edellytykset	9
4.5	Kaistansiirto ja muunnosketju	9
5	Jämsän kaupungin tasokoordinaatistomuunnos	10
5.1	Muunnosmenetelmän valinta	10
5.2	Muunnospisteet	10
5.3	Muunnosparametrit	12
6	Korkeusjärjestelmät	13

6.1	Suomen korkeusjärjestelmät	13
6.1.1	NN	13
6.1.2	N43	13
6.1.3	N60	14
6.1.4	N2000	14
7	Jämsän kaupungin korkeusjärjestelmämuunnos	15
7.1	Yleistä	15
7.2	Jämsän kaupungin korkeusmuunnospisteet	15
7.3	Jämsän kaupungin siirtokorjaus	16
8	Tarkastusmittaukset	17
8.1	Yleistä	17
8.2	GNSS	17
8.3	Mittaustapa	17
8.4	Pisteiden valinta	18
8.5	Mittaustulokset	20
9	Yhteenveto	22
	Lähteet	23

## Lyhenteet

ETRS	European Terrestrial Reference System. Yleiseurooppalainen koordinaattijärjestelmä.
EUREF-FIN	Yleiseurooppalaisen ETRS89-tasokoordinaattijärjestelmän suomalainen realisaatio.
GK	Gauss-Krüger-karttaprojektio.
Glonass	Global Navigation Satellite System. Venäjän ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Yleisnimitys maailmanlaajuisille satelliittipaikannusjärjestelmille.
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltojen ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe. EU:n direktiivi, jonka tavoitteena on luoda Eurooppaan yhteinen paikkatietoinfrastruktuuri.
JHS	Julkisen hallinnon suositus
KKJ	Kartastokoordinaattijärjestelmä.
NN	Normaalinolla. Ensimmäinen Suomessa käyttöön otettu korkeusjärjestelmä.
N43	Toisen valtakunnallisen tarkkavaaituksen aikana luotu tilapäinen korkeusjärjestelmä.
N60	Toisen valtakunnallisen tarkkavaaituksen tuloksena syntynyt korkeusjärjestelmä.
N2000	Kolmannen valtakunnallisen tarkkavaaituksen tuloksiin perustuva korkeusjärjestelmä.

VVJ

Vanha Valtion Järjestelmä. Ensimmäinen Suomessa käytössä ollut tasokoordinaattijärjestelmä.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on selvitys Jämsän kaupungin EUREF-FIN-tasokoordinaatti- ja N2000-korkeusjärjestelmän käyttöönottoprojektista sekä niihin liittyvistä tarkastusmittauksista. Jämsän kaupunki siirtyi käyttämään uusia järjestelmiä alkuvuodesta 2013.

Suomen kunnissa on viime vuosina siirrytty EU:n INSPIRE-direktiivin vaatimusten sekä julkisen hallinnon suositusten mukaisesti käyttämään uutta EUREF-FIN-tasokoordinaattijärjestelmää. Muunnosprojektin tavoitteena on luoda EU:n jäsenvaltioiden välille yhteinen paikkatietoinfrastruktuuri, ja näin ollen tehostaa jäsenvaltioiden välistä yhteistoimintaa.

Suomessa hiljattain käyttöön otettu uusi N2000-korkeusjärjestelmä perustuu viimeisimmän valtakunnallisen tarkkavaaituksen tuloksiin sekä julkisen hallinnon suositukseen JHS163:een. Jämsän kaupunki siirtyi uuteen korkeusjärjestelmään samassa yhteydessä EUREF-FIN-tasokoordinaatistomuunnoksen kanssa.

Tarkastusmittaukset tehtiin satelliittimittauksina EUREF-FIN-järjestelmässä. Tarkastusmittausten tarkoituksena oli varmistaa muunnoksen soveltuvuus satelliittimittauksiin EUREF-järjestelmässä.

## 2 Jämsän kaupungin muunnosprojekti

### 2.1 Yleistä

Jämsän kaupunki siirtyi EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin 18.2.2013. Siirtymispäivä oli sovittu etukäteen, jotta kaikki tarvittavat muunnokset saatiin tehtyä valmiiksi hyvissä ajoin ennen sovittua päivämäärää. Näin kaikki oli valmista välittömästi siirtymisen jälkeen. Kaikki siirtymispäivän jälkeen tehdyt maastomittaukset on tehty ainoastaan uudessa järjestelmässä. [1]



Erilaiset muunnostyöt aloitettiin jo noin puolitoista vuotta ennen sovittua siirtymispäivää. Muunnostöitä tehdessä kuitenkin huolehdittiin aineistojen ajantasaisuudesta. Mikäli aineistoihin tuli muutoksia muunnosten jälkeen, niitä pidettiin ajan tasalla sekä uudessa että vanhassa järjestelmässä. [1]

Ennen järjestelmiin siirtymistä Jämsän kaupunki tilasi Geopixel Oy:ltä selvityksen siitä, mitä toimenpiteitä kaupungin tulisi aineistojen kanssa suorittaa. Kyseisen selvityksen yhteydessä määriteltiin myös muunnoskertoimet, joiden perusteella suoritettiin aineistojen muutokset vanhasta KKJ-tasorunkojärjestelmästä uuteen EUREF-järjestelmään sekä vanhasta N60-korkeusjärjestelmästä uuteen N2000-järjestelmään. [1]

Jämsän kaupungin alueella uuden EUREF-FIN-järjestelmän projektiokaistaksi Gauss-Krüger-projektiossa soveltuu GK25, jonka keskimeridiaani 25 astetta kulkee likimain keskellä Jämsää. [1]

Uuteen tasokoordinaattijärjestelmään siirtymisen yhteydessä vaadittavat projektiokorjaukset osoittautuivat Jämsän kaupungin alueella varsin pieniksi. Suurimmillaan projektiokorjaukset olivat kaupungin reuna-alueilla. Näilläkin alueilla korjaukset olivat suuruudeltaan vain noin 10 mm/km. [1]

## 2.2 Kiintopisteverkon muunnokset

Ennen uusien tasorunko- ja korkeusjärjestelmien käyttöönottoprojektia tehtiin selvitys valtakunnallisen runkopisteverkoston tilasta Jämsän kaupungin alueella ja sen lähiympäristössä [1].

Selvityksen perusteella todettiin runkopistetilanteen olevan Jämsän alueella pääsääntöisesti hyvä, lukuun ottamatta kuntaliitosten yhteydessä osaksi Jämsää tulleiden Kuoreveden ja Jämsänkosken entisten kuntien alueita. Näillä alueilla on todennäköisesti tulevaisuudessa tarvetta tihentää nykyistä runkopisteverkkoa uusilla geodeettisilla mittauksilla kartastotöiden perustaksi. [1]

Jämsän kaupungin EUREF-FIN-muunnosprojektin yhteydessä kaikki kaupungin kiintopisteet muunnettiin ETRS-GK25-järjestelmään. Sen sijaan kiintopisteiden pisteselityskorttien muuttaminen katsottiin tarpeettomaksi. Myöskin numeerisessa muodossa olevia

kunnallistekniikan suunnitelmia, jotka on tehty KKJ-järjestelmään, muunnetaan ainoastaan tarvittaessa. [1]

### 2.3 Raja-aineiston muunnokset

Geopixel Oy:n selvityksestä saatujen muunnosparametrien mukaan muunnettiin KKJ-järjestelmässä olleita rajapyykkien koordinaatteja ETRS-GK25-järjestelmään. Tämän jälkeen ladattiin vastaavien rajapyykkien koordinaattitiedot Maanmittauslaitoksen ETRS-GK25-järjestelmässä. Verrattaessa Jämsän kaupungin omilla muunnosparametreilla muunnettujen rajapyykkien koordinaatteja Maanmittauslaitoksen vastaaviin todettiin niiden välisten erojen olevan enimmillään kaksi senttimetriä. [1]

Koko Jämsän alueelta ladattiin Maanmittauslaitokselta tekstitiedostoina raja-aineisto, josta poimittiin pohjakartan alueella sijaitsevat rajapyykit, jotka muokattiin Jämsän vastaavuustaulujen mukaisiksi. Tämän jälkeen rajapyykit luettiin MicroStation/Stella-ohjelmiston avulla kuvatiedostoksi. Rajapyykkiaineistoa jouduttiin käsittelemään jonkin verran myös manuaalisesti. [1]

### 2.4 Aineistojen muunnokset

#### 2.4.1 Jämsän kaupungin ohjelmistot

Muunnosprojektiin käytetyn työn määrää lisäsi entisestään se, että Jämsän kaupungilla on käytössään paljon eri karttaohjelmistoja eri tarkoituksia varten:

- Pohjakarttojen tuotannossa käytetään Bentley'n MicroStation/Stella-ohjelmistoja.
- Asemakaavojen laatimisessa on käytössä Autocad- ja MicroStation/Stella-ohjelmistot.
- Kunnallistekniikan suunnittelussa hyödynnetään MicroStation/Terra-ohjelmistoja.
- Johtokarttaa ylläpidetään MicroStation/Terra Pipenet-ohjelmistoilla.
- Maastomittausryhmien käytössä on kartoituksien purkua ja käsittelyä varten 3DWin-ohjelma.

Lisäksi Jämsän kaupungilla on käytössä kuntarekisterin eli KuntaNetin karttaliittyminä FactaGis ja MapInfo. Eri ohjelmistojen suuri lukumäärä on osittain seurausta 2000-luvun kuntaliitoksista. [1]

#### 2.4.2 Korkeusjärjestelmämuunnokset

Muunnosprojektin yhteydessä kaikki kartta-aineistot siirrettiin uuteen N2000-korkeusjärjestelmään. Jämsän alueella uuteen korkeusjärjestelmään siirtyminen tarkoitti kartta-aineistojen korkeuksien muuttamista 0.3008 metrillä vanhan N60-korkeusjärjestelmän korkeuksiin nähden. [1]

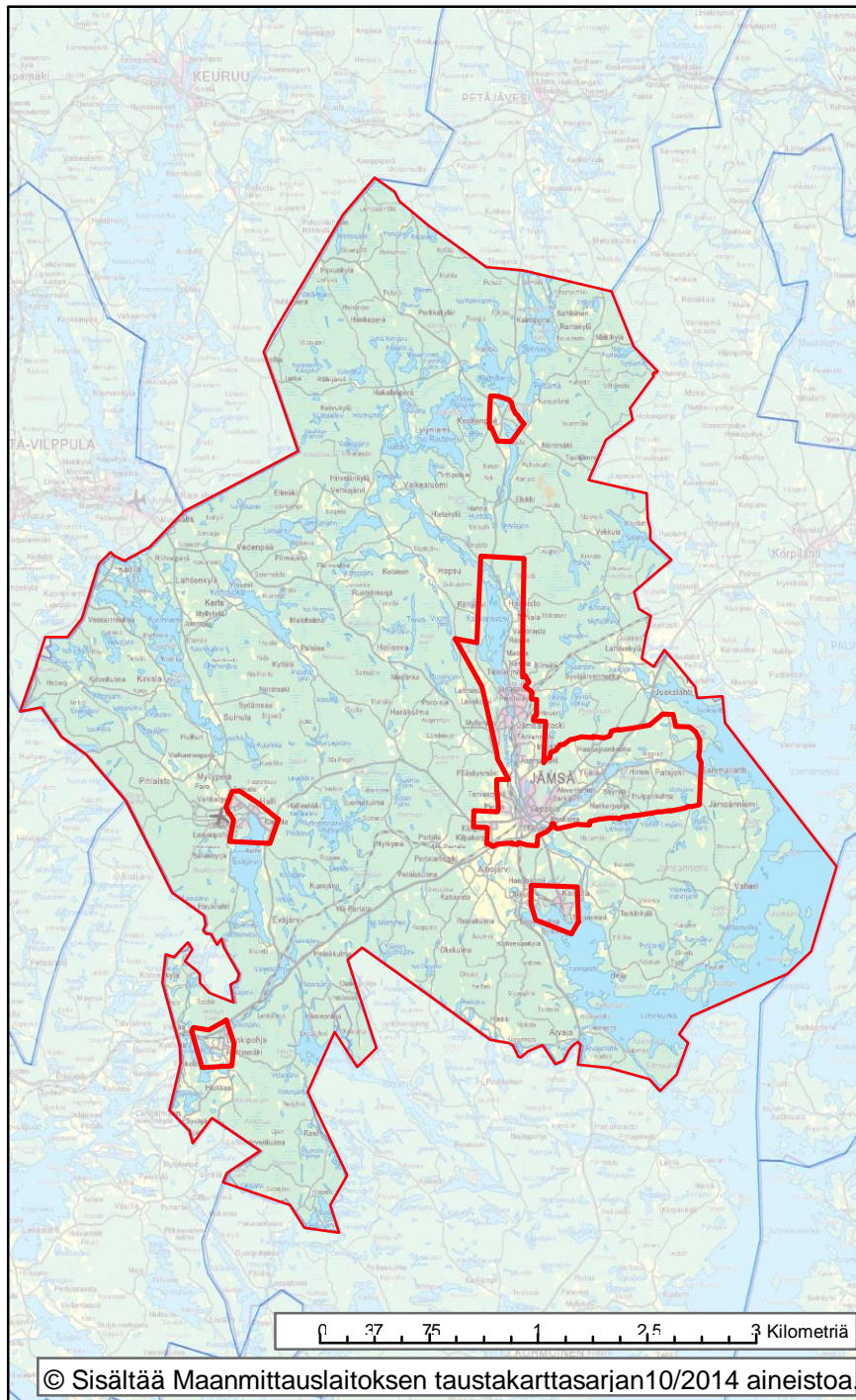
#### 2.4.3 Pohjakartat

Geopixel Oy:n tekemästä selvityksestä saadut muunnosparametrit lisättiin Bentleyyn StellaMap-ohjelmiston tiedostoihin, minkä jälkeen Jämsän kaupungin vanhat pohjakartat saatiin muunnosparametrien perusteella muunnettua uuteen ETRS-GK25-järjestelmään [1].

#### 2.4.4 Ilmakuvaukset

Jämsän alueella ilmakuvattiin vuonna 2011 kaikki silloiset pohjakartta-alueet (kuva 1). Lisäksi uusina alueina ilmakuvattiin kuntaliitosten yhteydessä osaksi Jämsää tulleiden Länkipohjan ja Jämsänkosken alueet, joiden pohjakartat olivat vanhentuneet. Myös kaupungin keskustan eteläpuolella sijaitseva Kaipolan alue kuvattiin, jotta saatiin uusittua alueen vanha 1970-luvulta peräisin ollut pohjakartta, joka ei ollut enää ajan tasalla. [1]

Ilmakuvausten perusteella saatiin vanhoille pohjakartta-aineistoille uuteen N2000-järjestelmään perustuvat korkeuskäyrät. Ilmakuvausten tuloksena saatiin myös kaupungin uudet ortokartat. [1]



**Kuva 1. Jämsän kaupungin pohjakartta-alueet. [1]**

#### 2.4.5 Asemakaava-, tontti- ja opaskartat

KKJ-järjestelmässä tehdyt kartat muunnettiin ETRS-GK25-järjestelmään Jämsän kaupungin omia muunnosparametreja käyttäen, jotta ne saataisiin tarvittaessa nykyisten aineistojen taustalle. Aineistojen väliset erot ovat enimmillään noin kaksi senttimetriä, mikä

on tässä tapauksessa riittävä tarkkuus näille kartoille. Lisäksi myös aiemmin rakennusten maastomerkintää varten lasketut koordinaatit muunnettiin uuteen järjestelmään. [1]

#### 2.4.6 Rasterikartat

Kaikkien rasterimuotoisten ajantasakaavojen sekä muiden rasterimuodossa olevien karttojen asemointi uuteen ETRS-GK-järjestelmään tehtiin etukäteen omana erillisenä projektina MicroStation/StellaMap-ohjelmilla [1].

#### 2.4.7 Maastotietokanta

EUREF-FIN-järjestelmän käyttöönottoprojektin yhteydessä Jämsän kaupunki tilasi Maanmittauslaitokselta uudessa ETRS-GK25-koordinaatistossa olevan maastotietokannan shapefile- ja MaaGisXL-formaateissa. MaaGisXL-formaattina maastotietokanta-aineisto luettiin MicroStation/Stella-ohjelmiston kuvatiedostoiksi. [1]

### 2.5 Ohjelmistotoimittajien muunnokset

Jämsän kaupunki teetti monia EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmien käyttöönottoprojektissa tehtyjä muunnoksia ohjelmistotoimittajilla. Kaupungin johtokarttojen tietokantojen muunnokset tehtiin Terrasolid Oy:n toimesta Jämsän kaupungin omia muunnosparametreja käyttäen. [1]

Kuntarekisterin (KuntaNet) koordinaattitiedot konvertoitiin EUREF-FIN-järjestelmään CGI:n toimesta, joka teki myös kaikkiin Jämsän kaupungin palvelimilla oleviin FactaGis-ohjelmiston aineistojen muunnokset. Samassa yhteydessä koko kaupungin raja-aineisto ladattiin shapefile-formaattiin, joka on yleinen tiedostomuoto paikkatieto-ohjelmistoissa. CGI teki myös ohjeet Jämsän kaupungille myöhemmin omien tiedostojen muuntamiseksi ETRS-GK-järjestelmään. Näitä vanhoja tiedostoja muunnetaan EUREF-FIN:iin tarvittaessa. [1]

Jämsän kaupungin verkkosivujen karttapalvelun karttoihin sekä karttojen kohteisiin tehdyt koordinaattimuunnokset saatiin Sito Oy:ltä [1].

Ohjelmistotoimittajien tekemistä muunnoksista aiheutui luonnollisesti lisäkustannuksia muunnosprojektiin. Lisäksi muunnosparametrien laskenta teetettiin konsulttityönä. Tarvittavia mittaustöitä ei kuitenkaan teetetty konsulteilla, vaan ne tehtiin kaupungin omana työnä. [1]

### **3 Tasokoordinaatistot**

#### **3.1 VVJ**

Vanha valtion järjestelmä (VVJ) perustui ensimmäisiin valtakunnallisiin kolmiomittauksiin ja kansainväliseen Hayford-ellipsoidiin. Hayford-ellipsoidi ei ole geosentrinen, vaan sen origo poikkeaa maapallon massakeskipisteestä. [2]

VVJ on aikaisemmin tunnettu myös nimellä Helsingin järjestelmä, koska koordinaatiston lähtöpisteeksi valittiin Helsingin Kallion kirkon tornissa oleva ensimmäisen luokan kolmiomittauspiste. VVJ perustui Geodeettisen laitoksen suorittamaan ensimmäisen luokan kolmiomittaukseen. [2]

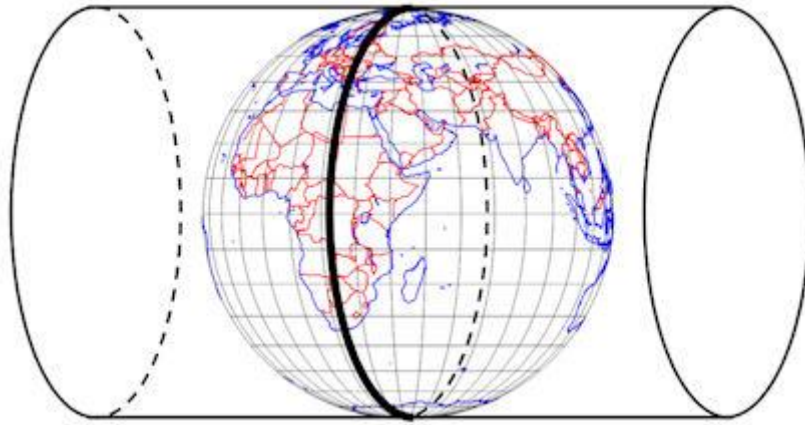
#### **3.2 KKJ**

Kartastokoordinaattijärjestelmän (KKJ) luominen aloitettiin, kun VVJ-järjestelmän puutteet tulivat esille 1960-luvulla. Uusi tarkempiin mittauksiin perustuva valtakunnallinen tasokoordinaatisto olisi poikennut liikaa vanhasta VVJ-järjestelmästä, minkä vuoksi se sovitettiin laajalla koko maan kattavalla yhdenmuotoisuusmuunnoksella VVJ-järjestelmään. Tulokseksi saatiin vuonna 1970 KKJ-järjestelmä. [3]

#### **3.3 EUREF-FIN-järjestelmä**

Uusi EUREF-FIN on geosentriseen GRS80-ellipsoidiin perustuva koordinaattijärjestelmä. Kaikki GNSS-mittaukset tapahtuvat suoraan EUREF-FIN-järjestelmässä. EUREF-FIN-järjestelmän käyttöönoton myötä on päästy eroon erilaisista muunnoksista ja niiden aiheuttamista sekaannuksista. EUREF-FIN on suomalainen realisaatio yleiseu-

rooppalaisesta ETRS89-koordinaattijärjestelmästä. ETRS89-järjestelmän kanssa käytetään Jämsän alueella paikallista ETRS-GK25-tasokoordinaatistoa, jossa GK tarkoittaa Gauss-Krügerin poikittaista lieriöprojektia (kuva 2) ja lukema 25 keskimeridiaania. ETRS89-järjestelmä on tarkempi ja tasalaatuisempi kuin vanha KKJ-järjestelmä. [4]



Kuva 2. Gauss-Krüger-karttaprojektiossa poikittainen lieriö sivuaa maapallon pituuspiiriä [5].

## 4 Koordinaatistomuunnoksista

### 4.1 Yleistä

Uuden tasokoordinaattijärjestelmän käyttöönotossa ja siirtymävaiheessa tarvitaan vanhan ja uuden järjestelmän välisiä muunnoksia, jotta kaupungin numeeristen aineistojen muuntaminen uuteen järjestelmään olisi mahdollista [4].

### 4.2 Muunnostavoista

Käytettävän muunnoksen määrittämiseksi voidaan käyttää joko yhdenmuotoisuus- eli Helmert-muunnosta tai kolmioihin perustuvaa affiinista muunnosta. Affiininen muunnos eroaa Helmert-muunnoksesta siten, että mittakaavan muutos on eri koordinaattiakselien suhteen [6].

Helmert-muunnos on tasokoordinaattijärjestelmien muunnoksissa tavallisemmin käytetty muunnosmalli. Affiinista muunnosta käytetään yleensä ainoastaan silloin, kun vanhassa runkopisteverkossa on Helmert-muunnoksen yhteydessä havaittu huomattavia

vääristymiä. Jämsän kaupungin EUREF-FIN-järjestelmään siirtymisessä käytettiin Helmert-muunnosta. [4]

#### 4.3 Helmert-muunnos

Helmert on kohteen muotoa muuttamaton muunnosmalli, joka käsittää neljä muunnosparametria. Parametreja ovat origon x- ja y-suuntaisten siirtojen lisäksi koordinaatiston kierto ja mittakaava. [4]

Helmert-muunnoksessa oletetaan, että koordinaattiakseleiden välinen kulma on suora. Lisäksi koordinaattiakseleiden mittakaavoja pidetään yhtenäisinä, mikä on lähtökohtana geodeettisia verkkoja muunnettaessa. [4]

#### 4.4 Muunnoksen edellytykset

Julkisen hallinnon suosituksen 154 mukaan muunnoksen kohteena olevilla pistejoukoilla tulee olla sama karttaprojektiotyyppi sekä sama keskimeridiaani. Kyseisellä JHS 154-ohjeistuksella pyritään välttämään projektiokaavojen aiheuttamia laskenta- ja tulkintaepämääräisyyksiltä, jotka voivat tuottaa merkittäviäkin vääristymiä muunnosten tuloksissa. [7]

Koordinaattimuunnoksen lähtökohtana on se, että muunnoksessa käytettävien muunnospisteiden muodostaman monikulmion on peitettävä kokonaan muunnoksen kohteena oleva alue. Tämän lisäksi kohdealueen sisällä on oltava muunnospisteitä riittävällä tiheydellä. [4]

#### 4.5 Kaistansiirto ja muunnosketju

Mikäli muunnettavien pistejoukkojen keskimeridiaanit eroavat toisistaan, on suoritettava kaistansiirto, mikä tarkoittaa sitä, että toisen projektiokaistan pisteet muutetaan saman keskimeridiaanin omaavalle projektiokaistalle ennen muunnoksen tekoa. Kyseisestä toimenpiteestä käytetään nimitystä koordinaattikonversio, ja se on käytettävissä kaikissa nykyaikaisissa paikkatietojärjestelmissä. [4]



Kaistansiirto muodostaa yhdessä koordinaattimuunnoksen kanssa muunnosketjun, joka on olennainen osa muunnosprojektia. Muunnosketjua tarvitaan, koska vanhan ja uuden tasokoordinaattijärjestelmän kaistaleveydet- ja tiheydet eroavat toisistaan. [4]

Myös Jämsän kaupungin muunnosprojektissa tarvittiin muunnosketjua, sillä uuden järjestelmän Gauss-Krüger-projektion mukaiset kaistat kohdistuivat ainoastaan harvemmassa olleiden KKJ-kaistojen kohdalla. Täten suora muunnos Jämsän vanhasta KKJ2-järjestelmästä uuteen ETRS-GK25-järjestelmään ei ollut mahdollinen, koska se olisi tuottanut vääristyneet muunnostulokset. Näin ollen ensin tehtiin muunnos KKJ2-järjestelmästä ETRS-GK24-järjestelmään, minkä jälkeen suoritettiin kaistansiirto GK25-kaistaan. [4]

## **5 Jämsän kaupungin tasokoordinaatistomuunnos**

### **5.1 Muunnosmenetelmän valinta**

Kaupungin kokoisella suhteellisen pienellä alueella valtakunnallisen runkopisteverkoston lähipistetarkkuus on tavallisesti hyvä, koska pienehkön alueen koordinaatistossa ei yleensä ole mittakaavapoikkeamia. Näin ollen Jämsän kaupungin koordinaatistomuunnosprojekti voitiin tehdä Helmert-muunnoksella käyttäen pienimmän neliösumman menetelmää, jolla taattiin paras mahdollinen tulos. [4]

Mikäli koordinaattimuunnoksen tuloksissa jäännösvirheiden perusteella olisi runkopisteverkostossa havaittu merkittäviä vääristymiä tai normaalista poikkeavia paikallisia muodonmuutoksia, olisi virheiden käsittelemiseksi voitu käyttää kolmioittaista affiinista muunnostapaa. [4]

### **5.2 Muunnospisteet**

Koordinaattimuunnosta varten inventoitiin Maanmittauslaitoksen pisterekisteristä Jämsän seutukunnan yhteiset KKJ2- ja EUREF-pisteet. Valikoidut KKJ-pisteet olivat pääsääntöisesti kolmannen luokan kiintopisteitä, kun taas valittujen EUREF-pisteiden joukossa oli sekä kolmannen että toisen luokan kiintopisteitä. Muunnospisteiden lukumääräksi tuli yhteensä 106. [1; 4.]



### 5.3 Muunnosparametrit

Muunnosparametrien määrittämiseen käytettiin yli sataa muunnospistettä. Muunnospisteiden suuri määrä takasi muunnosparametrien luotettavuuden, vaikka pisteet olivatkin jakautuneet epätasaisesti. Muunnokset laskettiin Helmert-menetelmää käyttäen ensin KKJ2- järjestelmästä EUREF-järjestelmään. Parhaimman mahdollisen tuloksen saavuttamiseksi muunnokset laskettiin myös toiseen suuntaan, eli uudesta järjestelmästä vanhaan. [4]

Taulukko 1. Jämsän kaupungin muunnosparametrit [4].

Parametri	KKJ2 --> GK24	GK24 --> KKJ2	Yksikkö
N -siirto	-130.7132253	289.8134936	m
E -siirto	21999881.1213941	-21999972.2568485	m
a -kerroin	0.999995857377859	1.000004142586110	-
b -kerroin	0.000007231784651	-0.000007231844575	-
Kierto	-0.00046	0.00046	gon
Mittakaava	0.999995857404	1.000004142612	-
Mittakaavaero	-4.1	4.1	ppm
Muunnoksen keskivirhe $m_0$		$\pm 0.015$	m

Taulukossa 1 on esitetty Jämsän kaupungin ETRS-GK-järjestelmän muunnosprojektin tuloksia. Oleellisin taulukosta ilmenevä tieto on KKJ- ja ETRS-järjestelmien välisen muunnoksen keskivirhe, joka kertoo sen, kuinka hyvin uusi koordinaattijärjestelmä sopii yhteen vanhan järjestelmän kanssa. Muunnoksen keskivirheen ollessa 0.015 m voidaan koordinaattimuunnosta pitää tämän suhteen erittäin onnistuneena. Huomionarvoista

muunnoksen keskivirhettä analysoidessa on myös se, että vanha KKJ-järjestelmä perustuu vanhempiin mittauksiin ja mittausmenetelmiin kuin uusi ETRS-GK-järjestelmä. [4]

## 6 Korkeusjärjestelmät

### 6.1 Suomen korkeusjärjestelmät

Suomi kuuluu Fenno-Skandian alueeseen, johon vaikuttaa edelleen jääkauden seurauksena maankohoamisilmiö, minkä johdosta Suomen korkeusjärjestelmiä on aika ajoin jouduttu päivittämään. Maankohoamisen voimakkuus vaihtelee alueittain. Suomessa maankohoaminen on voimakkainta Merenkurkussa. Jämsän kaupungin alueella maan on laskettu kohoavan noin 4 – 5 millimetriä vuodessa. [4]

Suomessa viime vuosina käyttöön otettua uutta N2000-korkeusjärjestelmääkin joudutaan tulevaisuudessa päivittämään, sillä maankohoaminen jatkuu edelleen. Korkeusjärjestelmän tunnuksesta ilmenee ajankohta, eli epookki, jonka tasoon kyseinen järjestelmä on kiinnitetty. [4]

#### 6.1.1 NN

NN (normaalinolla) on ensimmäinen Suomessa käytössä ollut korkeusjärjestelmä. Se perustuu 1900-luvun vaihteessa suoritettuihin valtakunnallisiin tarkkavaaituksiin. NN-järjestelmän nollakohtaksi otettiin Helsingin Katajanokan laiturissa sijainneen vedenkorkeusasteikon nollakohta, joka oli 30.465 metriä Suomen valtakunnallisen tarkkavaaituksen pääkiintopisteen alapuolella. NN-korkeusjärjestelmä on harvinainen, mutta se on ollut vielä käytössä joissakin kunnissa. Esimerkiksi Oulussa NN-järjestelmä oli käytössä vuoteen 2012 asti. [8]

#### 6.1.2 N43

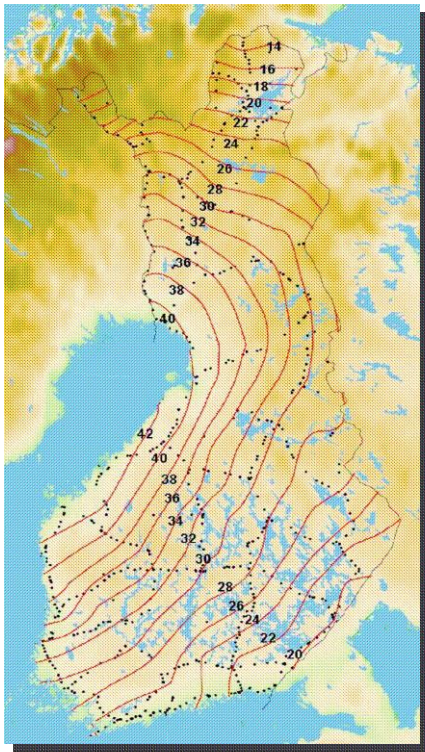
N43 luotiin tilapäiseksi korkeusjärjestelmäksi toisen valtakunnallisen tarkkavaaituksen ollessa vielä kesken. N43-järjestelmää määrittäessä ei käytetty koko vaaitusverkkoa eikä huomioitu maankohoamista mittausajalta. [8]

### 6.1.3 N60

N60 luotiin toisen valtakunnallisen tarkkavaaituksen valmistuttua. Se noudattaa geoidia paremmin kuin aikaisemmat korkeusjärjestelmät. N60-järjestelmästä tuli yleisin Suomessa käytössä ollut korkeusjärjestelmä, kunnes uusi N2000-järjestelmä on viime vuosina korvannut sen. [8]

### 6.1.4 N2000

Uusi N2000-korkeusjärjestelmä perustuu vuonna 1978 aloitetun ja aina 2000-luvulle asti jatkuneen kolmannen valtakunnallisen tarkkavaaituksen tuloksiin. N2000 on yhteisen eurooppalaisen korkeusjärjestelmän suomalainen realisaatio, jonka lähtötasona on Amsterdamin nollapiste NAP. [8]



**Kuva 4. N2000-järjestelmän ero N60-järjestelmään nähden senttimetreinä [8].**

## 7 Jämsän kaupungin korkeusjärjestelmämuunnos

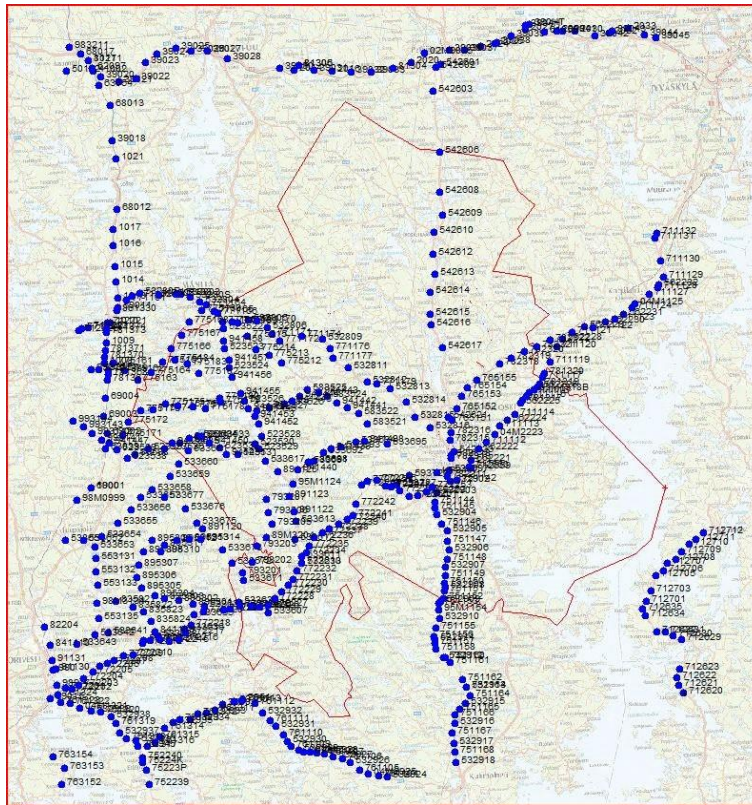
### 7.1 Yleistä

Siirtyminen korkeusjärjestelmästä toiseen tapahtuu tavallisesti yhdellä siirtokorjauksella. Mikäli tarve vaatii, voidaan siirtyminen tehdä myös ketjuttamalla useampi siirtokorjaus peräkkäin. Koska maankohoamisen voimakkuus vaihtelee alueittain, myös siirtokorjauksen suuruus on laskettava erikseen jokaisen kunnan alueella. Alueellisen siirtokorjauksen suuruuden määrittämiseen käytetään valtakunnallisen toisen ja kolmannen tarkkavaaitusten välisten erojen perusteella luotua siirtokorjausmallia. Jämsän alueella siirtokorjauksen suuruudeksi määritettiin noin 0,30 metriä. [4]

### 7.2 Jämsän kaupungin korkeusmuunnospisteet

Jämsän kaupungin siirtokorjauksen määrittämiseksi inventoitiin kaupungin ja sen lähialueen korkeusrunkopisteet (kuva 5), joilla on tunnettu korkeus sekä N2000- että N60-järjestelmässä. Pisteitä valittiin kaikkiaan 500 kappaletta, ja niiden laatu vaihteli valtakunnallisen ensimmäisen ja kolmannen luokan korkeuspisteiden välillä. Näitä kaikkia pisteitä käytettiin Jämsän kaupungin siirtokorjausta laskettaessa. [4]





Kuva 5. Jämsän kaupungin korkeusmuunnospisteet [4].

### 7.3 Jämsän kaupungin siirtokorjaus

Jämsän kaupungin siirtokorjauksen tekemistä varten laskettiin muunnosmalli käyttäen toisen ja kolmannen valtakunnallisten tarkkavaaitusten korkeuserojen keskiarvoa sekä korkeuseroihin sovitettua kaltevaa tasoa. Muunnosmallin laskennassa käytettiin viittästaa korkeusrunkopistettä, jotka on esitetty yllä olevassa kartassa. [4]

Kaltevaan tason malli osoittautui soveltuvan siirtokorjauksen mallinnukseen paremmin kuin vaakasuoraan tasoon perustuva korkeuserojen keskiarvon malli. Vaakasuoran tason malli ei ottanut huomioon maankohoamisesta aiheutuvaa vaikutusta korkeusjärjestelmien eroihin, minkä vuoksi kyseisen mallin tuloksiin sisältyi huomattavan paljon jännösvirheitä. [4]

Muunnosmallista saatiin tarkempi, kun siihen lisättiin tasokoordinaattiakseliä kiertäviä eli kallistukset. Näin otettiin huomioon myös maankohoamisen vaikutukset kohdealueella, joiden mallinnukseen kaltevan tason malli soveltuu hyvin. Kaltevaan tasoon perustuvan

mallinnuksen tuloksissa havaittiin ainoastaan yksittäisiä yli 0.01 metrin suuruisia jäännösvirheitä. Kaltevan tason sovituksen keskivirhe oli 0.0047 metriä, jonka todettiin olevan riittävän tarkka Jämsän kaupungin korkeusjärjestelmämuunnoksessa käytettävän siirtokorjauksen määrittämiseen. Vertailun vuoksi esimerkiksi muunnettavien digitaalisten karttojen korkeuden tarkkuus on noin kolmesta viiteen senttimetriä. Näin ollen kaltevan tason mallinnusta voidaan käyttää Jämsän kaupungin aineiston muuntamiseen aikaisemmin käytössä olleesta N60-korkeusjärjestelmästä uuteen N2000-järjestelmään, ja tarvittaessa myös toisinpäin. [4]

## 8 Tarkastusmittaukset

### 8.1 Yleistä

Tarkastusmittausten tarkoituksena oli selvittää EUREF-FIN-tasokoordinaatistomuunnoksen vaikutus Jämsän alueella tehtyihin satelliittimittauksiin. Kyseessä oli kontrollimitaus, jonka tavoitteena oli varmistaa Jämsän kaupungin muunnosparametrien soveltuvuus käytössä oleviin mittausmenetelmiin. Jämsän kaupunki käyttää mittauksissaan pääosin satelliittimittauksia, joten myös tarkastusmittaukset tehtiin GNSS-järjestelmään perustuen. [1]

### 8.2 GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System) eli kansainvälinen satelliittipaikannusjärjestelmä perustuu Yhdysvaltojen ylläpitämiin GPS-satelliitteihin sekä Venäjän GLONASS-satelliitteihin. EU:n on määrä liittää GNSS-järjestelmään myös omat Galileo-satelliittinsa, mutta tämä hanke on edistynyt odotettua hitaammin. [9]

### 8.3 Mittaustapa

Mittaukset tehtiin Trimble R8 GNSS -vastaanotinjärjestelmällä (kuva 8), joka otettiin Jämsän kaupungin mittaryhmässä käyttöön 2000-luvun alussa. Jämsän kaupungin mittausosastolla ei ole ainakaan lähitulevaisuudessa suunnitelmassa siirtyä käyttämään Trimble-laittevalmistajan uudempaa R10-mallia. [1]





Kuva 6. Trimble R8 -vastaanotin [10].

Mittaukset perustuvat VRS-järjestelmään, joka koostuu liikkuvasta mittausyksiköstä, tukiasemasta ja laskentakeskuksesta. Jämsän kaupungin siirtyessä käyttämään VRS-verkkoa 2000-luvun taitteessa Geotrim Oy vuokrasi kaupungintalon katolta paikan tukiasemalautaselle, jonka kantama on noin 40 kilometriä. Mittausdata kulkee GNSS-vastaanottimesta tukiasemaan, joka puolestaan lähettää sen edelleen Vantaalla sijaitsevaan laskentakeskukseen. Laskentakeskus lähettää takaisin koordinaatit tukiaseman kautta edelleen GNSS-vastaanottimeen. [1]

Mittaukset tehtiin staattisella GNSS-mittauksilla. Vastaanotin siis pystytettiin tukevasti paikoilleen mittauksen ajaksi, jotta mittaustuloksiin ei tulisi laitteen heilumisesta johtuvia virheitä. Mittausajaksi valittiin kolme minuuttia, jotta havaintoja saatiin tarpeeksi paljon. Riittävän pitkällä mittausajalla myös minimoitiin virhelähteet, kuten virrehavaintojen vaikutus mittaustuloksiin. [1]

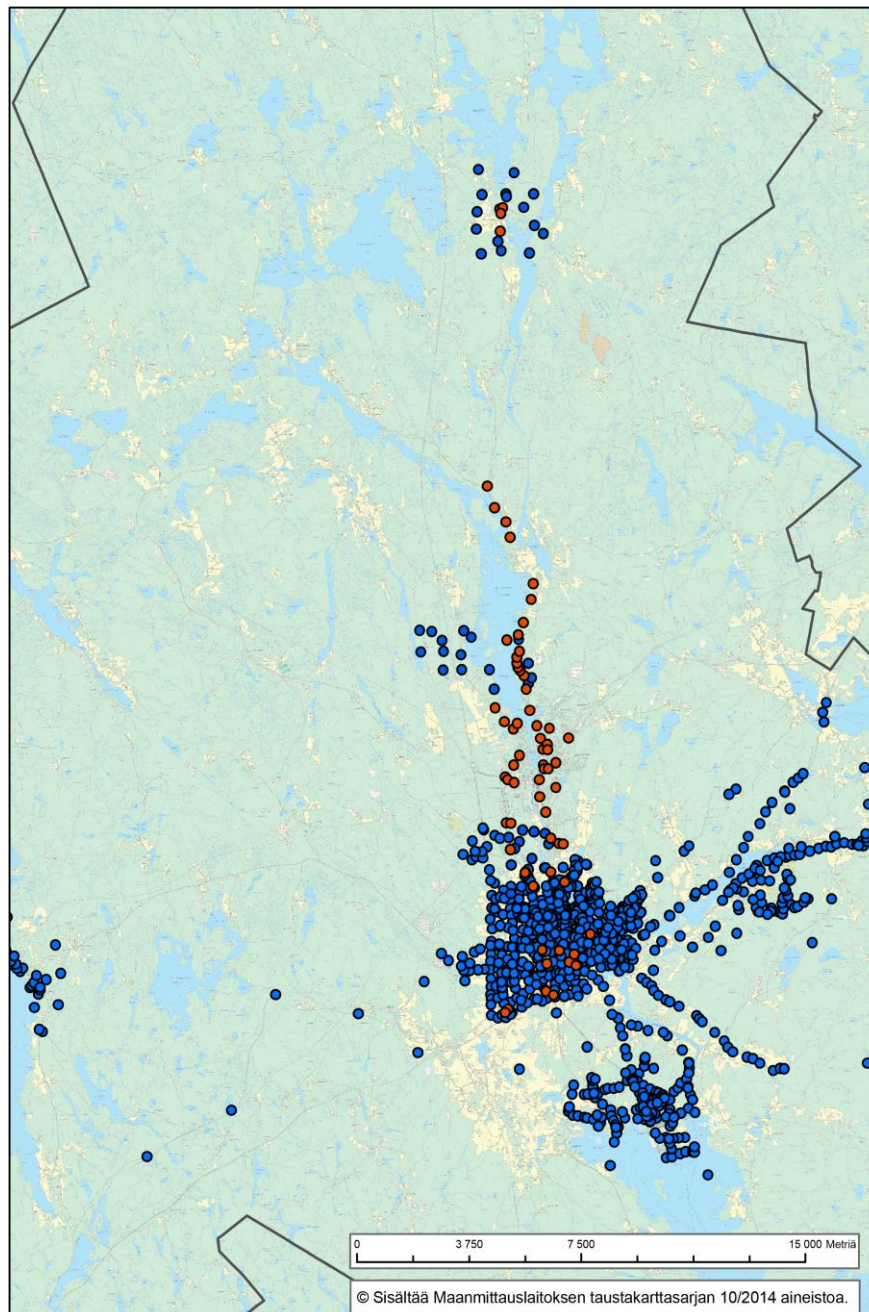
#### 8.4 Pisteiden valinta

Tarkastusmittauksissa käytettiin Jämsän kaupungin alueella sijaitsevia runkopisteitä. Mittausten kohteeksi valitut pisteet koostuivat pääosin monikulmiopisteistä, jotka ovat lähtökohtaisesti tarkempia kuin satelliittimittauksilla tehdyt RTK-käyttöpisteet. Jämsän kaupungin alueella uusia monikulmiopisteitä mitattiin 1990-luvulle asti jonomittauksilla,

jotka perustuivat kulma- ja matkahavaintoihin. Satelliittimittausten yleistyessä 2000-luvun taitteessa alettiin monikulmiopisteitä mitata RTK-mittauksilla. Kuitenkin jo 1990-luvulla mitattiin staattisilla satelliittimittauksilla GPS-pisteitä, joita käytettiin jonomittausten lähtöpisteinä. [1]

Monikulmiopisteverkon tiheys on Jämsän keskusta-alueella hyvä. Kaupungin laidoilla pisteitä on kuitenkin varsin harvassa, etenkin 2000-luvun kuntaliitoksissa Jämsään liitettyjen Kuoreveden ja Längelmäen entisten kuntien alueilla. Näille Jämsän keskustasta länteen sijaitseville alueille olisi tulevaisuudessa syytä tehdä uusia pisteitä, ja näin tihentää pisteverkkoa myös kaupungin keskustan ulkopuolella. [1]

Tarkastusmittaukset päätettiin keskittää Jämsän keskustan ja Jämsänkosken alueille. Yhteensä näiltä alueilta mitattiin 60 pistettä, jonka lisäksi käytiin hieman pohjoisemmassa Koskenpäällä mittaamassa neljä pistettä.



**Kuva 7. Jämsän alueen monikulmiopisteet. Tarkastusmittauksissa käytetyt pisteet on merkitty karttaan ruskealla värillä. [1]**

## 8.5 Mittaustulokset

Runkopisteille mitattiin koordinaatit suoraan uudessa EUREF-FIN-tasokoordinaatistossa ja korkeudet uudessa N2000-korkeusjärjestelmässä. Mitattuja koordinaatteja verrattiin samoille runkopisteille muunnosparametreilla KKJ2- ja N60-järjestelmistä muunnettuihin koordinaatteihin ja korkeuksiin.

Erot tasokoordinaateissa ja korkeuslukemissa jäivät reilusti alle kymmenen senttimetrin. Pääosin mitatut ja muunnosparametreilla muunnetut koordinaatit ja korkeudet erosivat toisistaan kahdesta viiteen senttimetriä. Yhden pisteen mitatun korkeuden kuitenkin havaittiin poikkeavan muunnetusta korkeudesta 14 cm. Tämän kaltaisen yksittäisen poikkeaman kohdalla on syytä epäillä virhettä joko uuden mittauksen yhteydessä tai vanhassa koordinaatissa. Mittausvirhe voi syntyä esimerkiksi lukuvirheestä vastaanottimen korkeutta määritettäessä. Mahdollista on myös se, että kyseinen piste on ajan kuluessa liikkunut esimerkiksi talvella roudan vaikutuksesta.

Pisteiden mitattujen ja muunnettujen tasokoordinaattien erojen keskiarvo oli 3,2 cm ja korkeuslukemien vastaavasti 2,5 cm. Näitä voidaan pitää hyvinä tuloksina, sillä GNSS-mittauksissa ei yleensäkaan päästä huomattavasti tämän parempiin tarkkuuksiin. Kontrollimittausten tulosten perusteella voidaan todeta, että Jämsän kaupungin muunnosparametrit soveltuvat hyvin satelliittimittauksiin.

## 9 Yhteenveto

Työssä on käsitelty Jämsän kaupungin siirtymistä EUREF-FIN-tasokoordinaatistoon ja N2000-korkeusjärjestelmään sekä niihin liittyviä kontrollimittauksia, joilla haluttiin varmistaa se, että kaikki muunnosten jälkeiset mittaustyöt voidaan tehdä suoraan uusissa järjestelmissä.

Muunnosprojekti vaati valtavan määrän työtä ja paljon etukäteissuunnittelua, sillä muunnosprojekti edellytti erilaisia toimenpiteitä eri ohjelmistojen ja kartta-aineistojen kohdalla. Jämsän kaupunki käytti muunnosprojektissaan jonkin verran ohjelmistotoimittajien sekä muiden konsulttien apua, mutta suurin osa uusien järjestelmien käyttöönottoprojektin vaatimasta työstä tehtiin kaupungin omasta toimesta.

Tarkastusmittauksilla haluttiin varmistus sille, että muunnosparametreilla muunnetut koordinaatit osuvat hyvin yhteen suoraan EUREF-FIN-koordinaatistossa mitattujen koordinaattien kanssa. Kymmenien monikulmiopisteiden mittausten havainnot osoittivat mitattujen ja muunnettujen koordinaattien välisten erojen olevan muutaman senttimetrin luokkaa. Näin ollen todettiin Jämsän kaupungin käyttämien muunnosparametrien soveltuvan hyvin satelliittimittauksiin.

Muunnosparametreja tullaan käyttämään vielä jatkossakin, sillä vaikka uusien järjestelmien käyttöönotto tapahtui jo vuonna 2013, joudutaan joidenkin aineistojen kohdalla edelleen tekemään muunnoksia vanhasta KKJ-järjestelmästä uuteen EUREF-FIN-järjestelmään.

## Lähteet

- 1 Nieminen, Markku. 2015. Paikkatietoinsinööri, Jämsän kaupunki. Haastattelu 5.3.2015.
- 2 VVJ. 2010. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/tasokoordinaatistot/vvj>>. Luettu 15.3.2015.
- 3 KKJ. 2010. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/tasokoordinaatistot/kkj>>. Luettu 13.3.2015.
- 4 Hakala, Jukka. 2010. Jämsän kaupungin koordinaatistotoselvitys. Geopixel Oy.
- 5 Gauss-Krüger projektio. 2010. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Gauss-Kr%C3%BCger-projektio>>. Luettu 10.3.2015.
- 6 Affiininen muunnos. 2010. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/muunnokset/affiininen-muunnos>>. Luettu 10.3.2015.
- 7 JHS 154. 2008. ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatistot ja karttalehtijako. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon suositukset. <<http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs154>>. Luettu 8.3.2015.
- 8 N2000 valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. 2010. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <[http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/N2000\\_Valtakunnallinen\\_korkeusjarjestelma.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/N2000_Valtakunnallinen_korkeusjarjestelma.pdf)>. Luettu 10.3.2015.
- 9 GNSS. 2015. Verkkodokumentti. TechTarget. <<http://searchnetworking.techtarget.com/definition/GNSS>>. Luettu 8.3.2015.
- 10 Trimble R8 GNSS System. 2015. Verkkodokumentti. Trimble. <<http://www.trimble.com/Survey/trimbler8gnss.aspx>>. Luettu 10.3.2015.